



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

RECERCA BIBLIOGRÀFICA SOBRE TÈCNIQUES DE MESURA DE L' ESPESSOR DE L'EPITELI CORNEAL

ELIA CAMPS SÁNCHEZ

**DIRECTOR: JOAN ENRIC PÉREZ CORRAL
DEPARTAMENT**



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

El Sr. Joan Enric Pérez Corral, com a tutor i director del treball

CERTIFIQUEN

Que la Sra. Elia Camps Sánchez ha realitzat sota la seva supervisió el treball "Recerca bibliogràfica sobre tècniques de mesura de l'espessor de l'epiteli corneal" que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signo/em aquest certificat.

Sr. Joan Pérez Corral
Tutor i Director del treball

Terrassa, 11 de Setembre de 2020



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

RECERCA BIBLIOGRÀFICA SOBRE TÈCNIQUES DE MESURA DE L' ESPESSOR DE L'EPITELI CORNEAL

RESUM

Objectiu:

L'objectiu principal d'aquest treball és ampliar coneixements sobre les tecnologies OCT i Scheimpflug que permeten mesurar el gruix de l'epiteli corneal, i a partir d'aquestes, comprendre la utilització dels instruments que permeten la mesura. També, saber en quins casos seria necessari o d'utilitat poder obtenir aquest gruix.

Metodologia:

Per realitzar el treball s'ha fet una recerca bibliogràfica en bases de dades, principalment en PubMed. També es van dur a terme mesures amb els aparells "3D OCT-1 Maestro" i "Pentacam" dels que es disposa al Centre Universitari de la Visió per conèixer i entendre el funcionament dels instruments que s'han estudiat.

Conclusions:

A partir de les tecnologies OCT i Scheimpflug es pot mesurar el gruix de l'epiteli corneal. Amb el Pentacam les mesures de l'epiteli corneal que s'obtenen són amb menys resolució que amb la resta d'instruments. Respecte les tecnologies OCT, amb l'instrument 3D OCT-1 Maestro es poden obtenir mesures de gruix corneal de les diferents capes corneals de bona resolució. En el cas de l'aparell MS-39 AS-OCT té gran resolució i permet tenir més superfície de mesura gràcies a l'ús simultani de tomografia i topografia.

Paraules Clau:

Gruix epiteli corneal, OCT, Scheimpflug.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA SOBRE TÉCNICAS DE MEDIDA DEL ESPESOR DE EL EPITELIO CORNEAL

RESUMEN

Objetivo:

El objetivo principal de este trabajo es ampliar los conocimientos sobre las tecnologías OCT y Scheimpflug que permiten medir el espesor del epitelio corneal, y a partir de estas, comprender la utilización de los instrumentos que permiten la medida. También, saber en qué casos sería necesario o de utilidad poder obtener este espesor.

Metodología:

Para realizar el trabajo se ha hecho una búsqueda bibliográfica en bases de datos, principalmente en PubMed. También se llevaron a cabo medidas con los instrumentos "3D OCT-1 Maestro" y "Pentacam" de los cuales dispone el "Centre Universitari de la Visió" para conocer y entender el funcionamiento de los instrumentos que se han estudiado.

Conclusiones:

A partir de las tecnologías OCT y Scheimpflug se puede medir el espesor del epitelio corneal. Con el Pentacam las medidas del epitelio corneal que se obtienen tienen menos resolución que con los demás instrumentos. Respecto las tecnologías OCT, con el instrumento 3D OCT-1 Maestro se pueden obtener medidas de espesor corneal de las diferentes capas corneales con buena resolución. En el caso del instrumento MS-39 AS-OCT tiene muy buena resolución y permite tener más superficie de medida gracias al uso simultáneo de tomografía y topografía.

Palabras clave:

Espesor epitelio corneal, OCT, Scheimpflug.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

BIBLIOGRAPHICAL RESEARCH ABOUT MEASURING TECHNIQUES OF THE CORNEAL EPITHELIAL THICKNESS

ABSTRACT

Objective:

The principal objective of this project is to expand the knowledge about OCT and Scheimpflug technologies that allow measuring the thickness of the corneal epithelium, and from these, understand the uses of the instruments that allow the measurement. Also, to know in which cases it would be necessary or useful to be able to obtain this thickness.

Methodology:

To carry out the project, a bibliographic search was realized in databases, mainly in PubMed. Measurements were also carried out with the "3D OCT-1 Maestro" and "Pentacam" instruments available at the "Centre Universitari de la Visió" to know and understand how they work.

Conclusions:

Using OCT and Scheimpflug technologies, the thickness of the corneal epithelium can be measured. With the Pentacam the measurements of the corneal epithelium that are obtained have less resolution than with the other instruments. Regarding OCT technologies, with the 3D OCT-1 Maestro instrument, measurements of corneal thickness of the different corneal layers can be obtained with good resolution. In the case of the MS-39 AS-OCT instrument, it has very good resolution and allows for a larger measurement surface thanks to the simultaneous use of tomography and topography.

Key words:

Corneal epithelium thickness, OCT, Scheimpflug.



AGRAÏMENTS:

En primer lloc vull agrair al meu tutor del TFG, en Joan Enric Pérez, pels comentaris per millorar i pels missatges d'ànim que tant ajuden a tirar endavant amb el treball.

Als meus pares, la meva germana Irene i la meva cosina Xènia, els quals m'han recolzat a l'hora de fer el treball.

A la Natalia Bono, la Cristina Berbés i la Tigist Fernàndez, per aconsellar-me en com es fa un TFG i animar-me a continuar.

A l'Alex Sierra, per recordar-me cada dia que m'havia de posar a fer feina, per corregir-me algunes errades i per motivar-me a seguir.

I finalment, a l'Anna Camps i la Maria Salvatella, que tot i no entendre d'òptica em deien que estava molt bé i continués així.



ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	8
2. OBJECTIU	8
3. EPITELI CORNEAL	8
3.1. ESTRUCTURA ANATÒMICA	8
3.2. CARACTERÍSTIQUES I FUNCIONS	10
3.3. VALORS NORMALS	11
4. TECNOLOGIES DE MESURA DEL GRUIX DE L'EPITELI CORNEAL	12
4.1. TOMOGRAFIA DE COHERÈNCIA ÒPTICA	12
4.1.1. CONTEXT I EVOLUCIÓ HISTÒRICA	12
4.1.2. TECNOLOGIA	12
4.1.3. MODELS OCT	13
4.2. SCHEIMPFLUG	19
4.2.1. CONTEXT I EVOLUCIÓ HISTÒRICA	19
4.2.2. TECNOLOGIA	20
4.2.3. MODELS SCHEIMPLFUG	21
5. APLICACIONS DE LA MESURA DE L'EPITELI CORNEAL:	24
5.1. CIRURGIA REFRACTIVA	24
5.2. ORTOQUERATOLOGIA	25
6. CONCLUSIONS	26
7. BIBLIOGRAFIA	27

1. INTRODUCCIÓ

Aquest treball està centrat en la recerca bibliogràfica, mitjançant bàsicament la base de dades PubMed, de les diferents tècniques de mesura de l'epiteli corneal. L'elecció d'aquest tema ha estat degut al meu interès en el camp de la contactologia.

Saber més en profunditat sobre l'epiteli corneal és essencial, ja que, després de la pel·lícula lacrimal, és la capa que està més en contacte amb la lent de contacte. També s'ha de tenir en compte el gruix de l'epiteli corneal en l'adaptació de lents de contacte d'ortoqueratologia, que s'utilitzen pel control de miopia en pacients joves o per la seva correcció en pacients adults. Per aquestes raons trobo que és important estudiar el gruix de l'epiteli corneal i veure els canvis que pot patir en aquests casos.

A mesura que avança el treball veurem més en profunditat les tecnologies per poder mesurar el gruix de l'epiteli corneal, en concret, la tomografia de coherència òptica i la de scheinplufug.

2. OBJECTIU

L'objectiu principal d'aquest treball és estudiar diferents tipus de tecnologies amb les que podem mesurar el gruix de l'epiteli corneal.

A partir d'aquest objectiu principal també familiaritzar-me amb la utilització dels instruments que ens permeten fer aquesta mesura, i saber reconèixer els casos en els que seria necessari i/o de gran ajuda obtenir els valors del gruix de l'epiteli corneal.

3. EPITELI CORNEAL

3.1. ESTRUCTURA ANATÒMICA

Històricament s'ha dit que la còrnia està formada per 5 capes, que són de la més externa a la més interna: l'epiteli corneal, la membrana de Bowman, l'estroma corneal, la membrana de Descemet i l'endoteli corneal.¹ Recentment, diferents estudis han demostrat l'existència d'una sisena capa situada entre l'estroma corneal i la membrana de Descemet, la capa de DUA.²

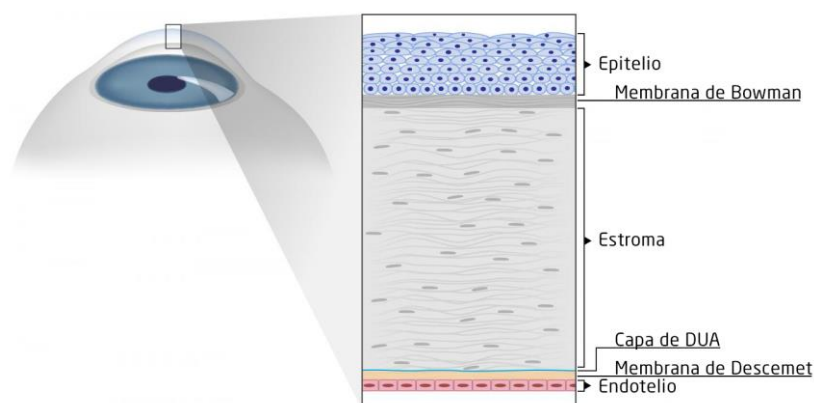


Figura 1. Estructura anatòmica de la còrnia. Font: <https://vistasancheztrancon.com/patologias-y-tratamientos/especialidades-oftalmologicas-en-extremadura/cornea/>

L'epitèli corneal és la capa més externa de la còrnia. Consta de 5 a 7 capes de cèl·lules a la zona central i aquestes són més nombroses a la zona perifèrica que consta de 8-10 capes.¹

L'epitèli corneal té poques interfases o zones amb diferent índex refractiu, fet que permet evitar discontinuïtats òptiques.

Està dividit en tres estrats formats per diferents tipus de cèl·lules:

-Estrat **basal**: Una capa de cèl·lules columnars.

-Estrat **intermedi**: 2 o 3 capes de cèl·lules alades.

-Estrat **superficial**: 2 capes de cèl·lules planes. Les cèl·lules d'aquesta capa compten amb microvilli per facilitar i augmentar l'absorció d'oxigen i nutrients de la pel·lícula lacrimal.³

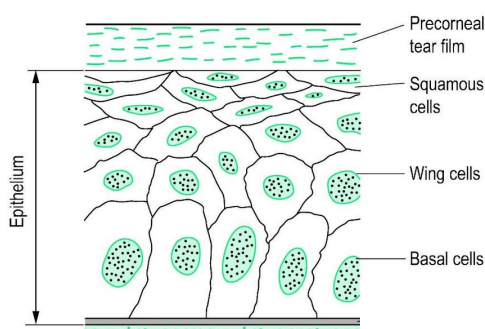


Figura 2. Estructura de l'epitèli corneal. Font: https://www.researchgate.net/figure/4-Diagram-of-the-cross-section-of-the-cornea-epithelial-layer-image-taken-from_fig4_305441043

L'epiteli corneal central està menys adherit a la membrana Basal que el perifèric, aquest està adherit amb més complexitat.⁴

3.2. CARACTERÍSTIQUES I FUNCIONS

L'epiteli corneal és el teixit que recobreix la superfície de la còrnia. Es caracteritza per ser transparent, tenir un gran poder refractiu i actuar com a barrera protectora per les estructures oculars internes.

A diferència de les capes més internes com l'endoteli, l'epiteli té una gran capacitat de regeneració, ja que, s'està constantment regenerant. Les cèl·lules basals de la perifèria es desplacen a la zona central, aquestes es divideixen per mitosi i puguen cap a la superfície movent les cèl·lules alars cap a l'exterior. Això fa que les cèl·lules de l'estrat superficial amb l'ajuda del parpelleig es separin de l'epiteli. Aquest procés dura més o menys una setmana. En el cas d'una abracció corneal lleu l'epiteli es pot regenerar en qüestió d'hores, en canvi, quan es tracta d'una lesió més greu pot arribar a tardar setmanes si s'han alterat les unions cel·lulars.⁵

L'epiteli corneal té les següents funcions:

- **Òptiques.** Una de les seves propietats és la **transparència** gràcies a la seva avascularitat i estructura cel·lular ben organitzada. És el primer sistema diòptri del globus ocular amb -1.40 diòptries.⁶
- **Protecció** en front a **les lesions físiques** que puguin tenir lloc.
- **Barrera contra fluids** que no formin part de l'estructura ocular.
- **Barrera** en front **la radiació ultraviolada.**⁷
- **Barrera contra** gran quantitat de **microorganismes.**

Únicament es té el coneixement de 5 microorganismes que puguin passar a través de l'epiteli corneal sense estar aquest alterat. Aquests 5 microorganismes són: *Pseudomona aeruginosa*, *Streptococcus pneumoniae*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Haemophilus influenzae* i *Corynebacterium spp.*¹

- **Estabilitzador de la llàgrima** a partir de microvellositats de les cèl·lules epitelials.¹

3.3. VALORS NORMALS

Per analitzar els gruixos de l'epiteli corneal es divideix la còrnia en 3 zones: la central que avarca un diàmetre de 3mm, la paracentral que conté entre 3 i 6mm corneals i la perifèrica dels 6 als 10mm.

Tenint en compte ulls no patològics, el conjunt de cèl·lules que formen l'epiteli corneal central tenen un valor de gruix mig de $52 \pm 1 \mu\text{m}$. Observant la zona paracentral el gruix epitelial és d'unes $54.5 \pm 2.5 \mu\text{m}$ i finalment en la zona perifèrica el gruix mig seria de $65 \pm 7 \mu\text{m}$.⁸ Per tant, es pot veure com el gruix de l'epiteli corneal va augmentant significativament a mesura que s'allunya de la zona central.

Si a més es tenen en compte les zones superior i inferior es pot veure que en la zona superior l'epiteli corneal consta d'unes $49.6 \pm 3.5 \mu\text{m}$ i la zona inferior de $51.2 \pm 3.4 \mu\text{m}$.⁹ I comparant el gruix de l'epiteli de la zona nasal i temporal es veu que el temporal és $1.2 \mu\text{m}$ més prim.¹⁰

A partir de diferents estudis podem observar que el gruix corneal dels 2mm centrals de la còrnia pràcticament no varia amb l'edat. En canvi si observem 6mm de diàmetre corneals, concloem que a mesura que avança l'edat, les zones nasal i temporal de la part paracentral de l'epiteli corneal es van aprimant unes $7 \mu\text{m}$ al llarg de la vida, tenint en compte que dels 0 als 20 anys mesura unes $58.28 \pm 8.10 \mu\text{m}$ i a partir dels 60 anys arriba a mesurar unes $51.58 \pm 5.24 \mu\text{m}$. Les zones superior i inferior mantenen un gruix constant.¹¹

Si tenim en compte pacients miops, es pot determinar que els pacients amb miopies baixes o moderades tenen un gruix corneal major als pacients amb miopies més elevades i/o magnes.¹² En el cas de persones hipermetrops no s'han obtingut estudis que comparin el seu gruix corneal.

4. TECNOLOGIES DE MESURA DEL GRUIX DE L'EPITELI CORNEAL

4.1. TOMOGRAFIA DE COHERÈNCIA ÒPTICA

4.1.1. CONTEXT I EVOLUCIÓ HISTÒRICA

L'evolució respecte la tomografia de coherència òptica (d'ara endavant anomenada "OCT") ha patit diferents canvis, ja que, ha sigut valorada per diferents professionals al llarg dels anys i cada vegada obtenim imatges més precises del teixit estudiat.

Adolf Friedrich Fercher va introduir la interferometria de coherència parcial, la qual va utilitzar per la biometria òptica del teixit i un concepte bàsic de la OCT.¹³

David Huang va ser el primer en sintetitzar les imatges òptiques A-scans a imatges B-scans, enregistrant imatges in vivo l'any 1991. L'A-scan es tracta d'un escaneig d'amplitud unidimensional, per altra banda, la B-scan es refereix a un escaneig bidimensional de secció transversal.¹⁴

El grup de Fercher va registrar la primera imatge d'OCT in vivo d'una retina l'any 1993.

L'any 1994 Izatt J.A. va aplicar la tècnica de l'OCT al segment anterior del globus ocular. Per fer els estudis es van utilitzar sistemes personalitzats a partir de l'OCT dissenyats per segment posterior i es van adaptar pel segment anterior.

Al 2001 es va poder mesurar per primera vegada el gruix corneal central.¹³

Des de llavors s'han fabricat i utilitzat diferents tipus d'OCT tenint en compte diferents paràmetres com la font òptica, la resolució axial, la resolució transversal, la velocitat d'escaneig, la profunditat d'escaneig i l'amplada màxima d'escaneig, fins a arribar als models actuals en els que ens centrarem.

4.1.2. TECNOLOGIA

La tomografia de coherència òptica és una tècnica d'imatge no invasiva que a partir de llum infraroja permet captar imatges de resolució micromètrica (d'unes 2-20µm de resolució) de

seccions transversals i tridimensionals del sistema òptic que permet la caracterització de les morfologies dels teixits. L'OCT utilitza interferometria de baixa coherència, normalment llum infraroja, per obtenir les imatges oculars tant de segment anterior com segment posterior. En aquest treball volem valorar l'epiteli corneal així que ens centrarem en les imatges de segment anterior. L'OCT de segment anterior (AS OCT) treballa amb una longitud d'ona més alta que la OCT posterior. En el cas del segment posterior la longitud d'ona de la llum que es fa servir està entre uns 800 i 900nm, en canvi, si es vol estudiar el segment anterior la longitud d'ona utilitzada és més alta, d'uns 1.310nm. Al tenir aquesta longitud d'ona hi ha més absorció i menys dispersió i penetració, el que ens permet obtenir les imatges de còrnia, cambra anterior, iris i angle.^{15,16,17,18}

Amb les imatges obtingudes per l'OCT de segment anterior es poden detectar anomalies de la còrnia com la presència d'opacitats, cicatrius o distròfies. Les imatges corneals poden ser de gran interès en casos de cirurgia refractiva, de cirurgia ocular, ús de lents de contacte i lents d'ortoqueratologia.

La tecnologia de l'OCT es basa en la mesura del retard dels infrarojos (IR) reflectits en les estructures dels teixits. A partir del temps d'anada i tornada de l'ona de llum IR es pot sondar l'estructura en profunditat. L'ús de la interferometria de baixa coherència permet comparar el retard de les reflexions dels teixits amb un reflex de referència.¹⁶

Per aconseguir la imatge de l'OCT, s'obtenen escanejos axials (escanejos A), que seguidament s'uneixen per obtenir una imatge composta. Aquests escanejos A tenen informació sobre la llum reflectida en funció de la profunditat.¹⁶

4.1.3. MODELS OCT

- **3D OCT-1 MAESTRO:**

El model d'OCT de Topcon "3D OCT-1 Maestro" és l'instrument del que es troba al Centre Universitari de la Visió i el qual s'utilitza per fer diverses proves i prendre les imatges obtingudes.



Figura 3. OCT model 3-D OCT-1 Maestro del Centre Universitari de la Visió.

Hi ha la opció d'obtenir dos tipus d'imatges corneals: la imatge radial de segment anterior i la línia de segment anterior.

- **RADIAL DE SEGMENT ANTERIOR**

Aquesta opció d'imatge ens permet examinar la còrnia central (els 6mm de diàmetre més centrals) a partir de 12 escanejos radials, així podem obtenir mapes de gruix corneal. A part de poder examinar la còrnia en la seva totalitat, podem separar les diferents capes de la còrnia de manera que les podem estudiar per separat, així és com aconseguim analitzar l'epiteli corneal.

Aquesta opció de l'OCT té molt bona resolució i capta les diferències de distribució de cèl·lules en cada capa a partir del comportament de la llum i això permet obtenir les línies de separació entre capes. Per tal d'obtenir la zona que pertany a l'epiteli corneal podem senyalar automàticament la línia que separa aquesta zona de la membrana de Bowman. Gràcies a la funció "Caliper" mesurem el gruix de l'epiteli corneal. Al dibuixar una línia que travessa l'epiteli verticalment, que comença on acaba la llàgrima i acaba on comença la membrana de Bowman, obtenim el valor del gruix de l'epiteli corneal. Tal i com veiem a la fotografia següent, on obtenim un valor de 55µm.

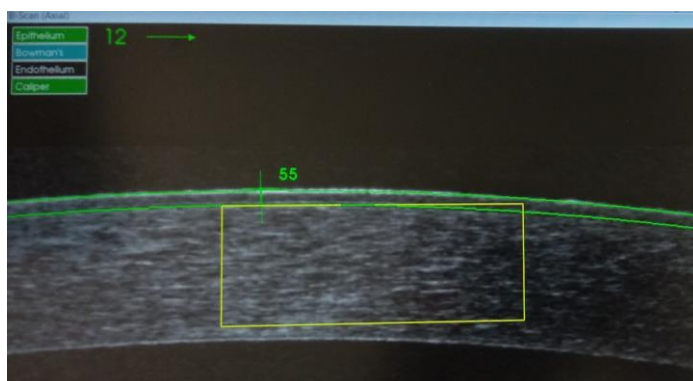


Figura 4. OCT corneal radial amb mesura del gruix de l'epiteli corneal de 55 μ m.

Seguidament veiem el mapa de gruix de l'epiteli corneal.

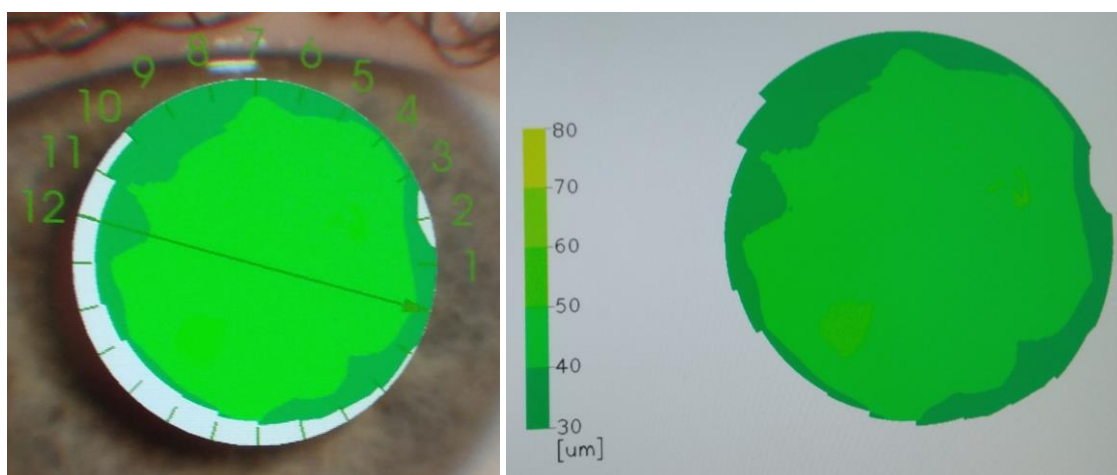


Figura 5 i 6. Mapes de gruix de l'epiteli corneal.

Aquest mapa permet visualitzar quin gruix (en μ m) presenta l'epiteli corneal en la zona estudiada. Els 12 escanejos radials separats cada un per 15 $^\circ$ fan que sigui possible estudiar la regularitat del gruix de l'epiteli corneal. Els colors més clars del mapa ens indiquen les zones on l'epiteli té més gruix i les zones més fosques on l'epiteli és més prim.

Una altra manera d'interpretar el gruix corneal a partir de l'OCT és amb la gràfica que obtenim, la "B-Scan Profile".

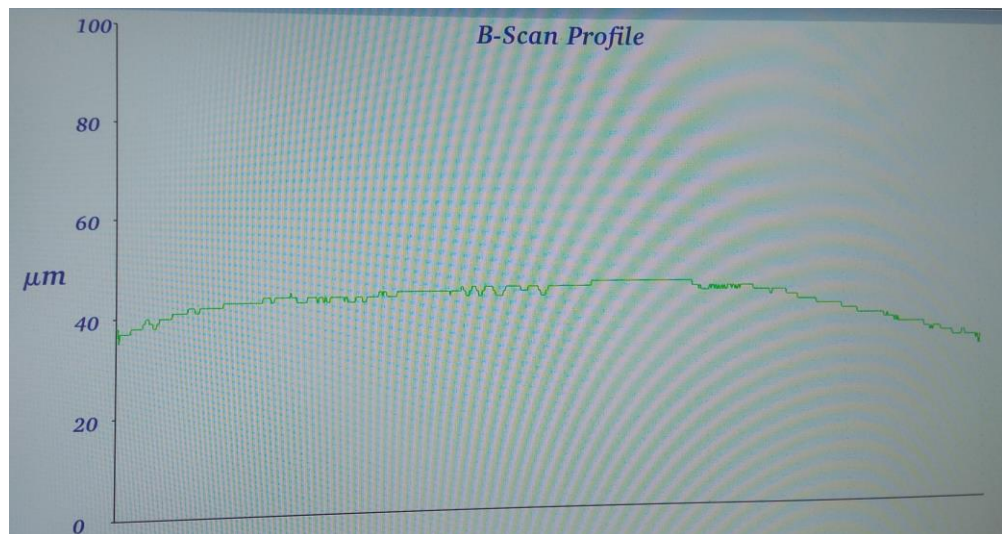


Figura 7. Gràfica del gruix de l'epiteli corneal en tots els meridians estudiats.

Aquesta gràfica ens mostra la regularitat que té el gruix de l'epiteli corneal en la zona estudiada. A l'eix Y veiem el valor del gruix de l'epiteli en μm , i a l'eix X a quina zona corneal pertany el valor. En el cas que hi hagués un punt de la còrnia on l'epiteli hagués estat danyat i sigues més prim, es veuria un pic cap a baix en aquesta gràfica.

- **LÍNIA DE SEGMENT ANTERIOR**

Es tracta d'una imatge amb menys resolució en comparació a la radial perquè l'aparell només fa la foto en un eix corneal. Amb aquesta opció no podem obtenir ni el mapa de gruix epitelial ni el perfil de la gràfica. És una bona opció de mesura per analitzar una superfície corneal més gran i així obtenir una imatge més general però amb menys resolució.

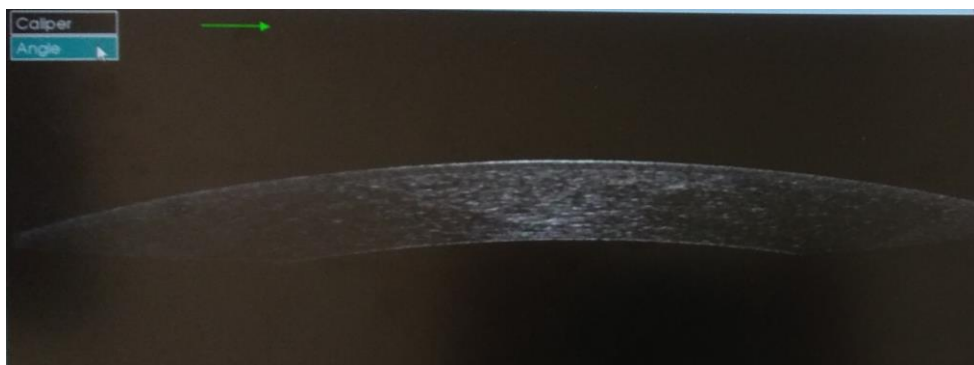


Figura 8. OCT corneal lineal amb superfície corneal de 6mm.

Tot seguit tenim una taula tècnica de les mesures que aquest model d'OCT permet fer al segment anterior:

OBSERVACIÓ I FOTOGRAFIA DEL SEGMENT ANTERIOR (TOMOGRÀFIA)	
Rang d'escaneig	A còrnia: -Direcció horitzontal 3 - 6mm -Direcció vertical 3 - 6mm
Velocitat d'escaneig	50000 escanejos A/ segon
Resolució lateral	20µm
Resolució de profunditat	6µm (resolució digital 2.6µm)
Diàmetre de pupil·la fotografiable	2.5mm o més
Objectiu de fixació interna	Es pot canviar i ajustar la posició de l'objectiu de fixació. Es pot canviar la forma d'aquest objectiu.

Taula 1. Taula amb informació tècnica del model "3-D OCT-1 Maestro". Font: https://arnamedical.ru/doc/pic/prod_topcon/EN_3D_OCT-1_Maestro_Topcon_Brochure.pdf

○ **MS-39 AS-OCT:**

L'MS-39 AS-OCT és un instrument de mesura del segment anterior de l'ull. Consisteix en la topografia corneal del disc de Plàcido juntament amb la tomografia del segment anterior basat en OCT d'alta resolució.¹⁹



Figura 9. OCT model MS-39 AS-OCT. Font: <https://www.csoitalia.it/en/prodotto/info/63-ms-39>

Amb aquest aparell es poden fer paquimetries corneals, mesures d'elevació, curvatura i potència diòptrica tant de la cara anterior corneal com de la posterior. A partir de mesures biomètriques es pot obtenir el gruix del cristal·lí i la profunditat de la càmera anterior. A més a més, el topògraf fa possible la planificació per implantar anells intraestromals en casos de correcció de refracció o de queratocon.¹⁹

Aquest instrument permet fer mesures corneals amb el disc de Plàcido i l'OCT a la vegada. Les mesures del disc de Plàcido abasten menys diàmetre que les de l'OCT i al unir la informació obtinguda per cada tècnica aconseguim unes dades de còrnia central més completes i del màxim diàmetre corneal anterior possible. Això ens permet obtenir mapes epitelials d'alta precisió i repetibilitat, incloent el gruix de l'epiteli corneal.¹⁹

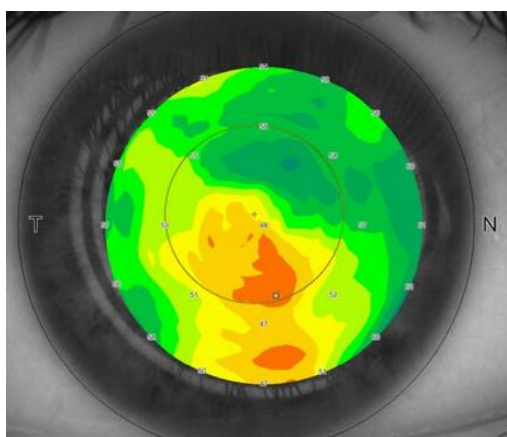


Figura 10. Mapa de gruix epitelial amb l' MS-39 AS-OCT. Font: [https://www.csoitalia.it/en/prodotto/info/63-ms-](https://www.csoitalia.it/en/prodotto/info/63-ms-39)

39

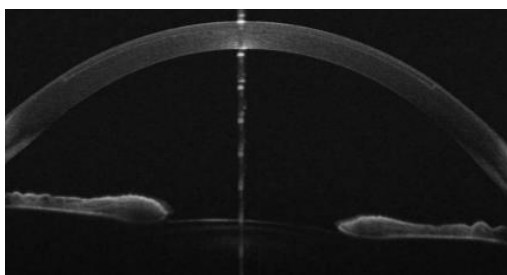


Figura 11. Secció corneal amb l' MS-39 AS-OCT. Font: <https://www.slideshare.net/troostasleandro/ms-39-lp>

A continuació tenim una taula amb característiques tècniques d'aquest model d'OCT amb topografia.

TOPOGRAFIA	
Anells del disc de Plàcido	22
Punts mesurats	31232 a superfície anterior 25600 a superfície posterior
Cobertura topogràfica	10mm
Rang de mesura diòptrica	De 1D a 100D
Precisió de mesura	Classe A d'acord amb UNI EN ISO 19980-2012
SECCIÓ TOMOGRÀFICA	
Camp d'imatge	16mm x 8mm
Resolució axial	>3.6µm (al teixit)
Resolució transversal	35µm (a l'aire)
Resolució d'imatge	Queratoscopia (640x480) + 15 escanejos radials a 16mm de camp transversal (1024 escanejos A)- Secció: a 16mm (1600 escanejos A) a 8 mm (800 escanejos A)

Taula 2. Taula amb informació tècnica del model MS-39 AS-OCT. Font:

<https://www.csoitalia.it/en/prodotto/info/63-ms-39>

4.2. SCHEIMPFLUG

4.2.1. CONTEXT I EVOLUCIÓ HISTÒRICA

L'any 1901 Jules Carpentier va ser l'inventor de l'anomenat principi de Scheimpflug.

Theodor Scheimpflug va estudiar aquest principi l'any 1904, el qual va ser proposat com a mètode per ampliar la profunditat de camp en imatges militars preses des de l'aire.

El principi de Scheimpflug va ser utilitzat per obtenir una secció òptica del segment anterior de l'ull per Drew, Niesel i Brown.

Dragomirescu i Hockwin van desenvolupar el principi d'una càmera de rotació i així poder visualitzar seccions transversals del segment anterior de l'ull. Però va ser Topcon qui va comercialitzar la primera càmera Scheimpflug.

Carl Zeiss va comercialitzar un instrument amb vídeo rotatiu Scheimpflug amb un sistema d'anàlisi amb imatge electrònica que, a diferència de la càmera Scheimpflug que va comercialitzar Topcon, aquest comptava amb prismes òptics que permetien que la càmera no rotés.

En els inicis de l'ús de les càmeres Scheimpflug només s'utilitzaven per la recerca, però més endavant es van començar a utilitzar en l'àmbit clínic. El primer aparell en ser utilitzat en aquest àmbit va ser el "NIDEK EAS-1000 Eye Analysis System".^{20,21}

4.2.2. TECNOLOGIA

Els instruments amb la tecnologia de Scheimpflug estan basats en el principi de Scheimpflug. Aquest principi permet fotografiar el segment anterior de l'ull i obtenir imatges d'escletxes de manera precisa per documentar la difusió de la llum i la biometria ocular.

Aquesta tecnologia fa possible fotografiar un objecte amb inclinació obliqua amb la millor profunditat d'enfocament factible i amb la mínima distorsió de la imatge. La regla geomètrica que descriu aquest principi és l'orientació del pla d'enfocament d'un sistema òptic quan el pla de la lent no és paral·lel al pla d'imatge.^{21,22}

En la figura 12 es pot observar un esquema de la demostració del principi de Scheimpflug en el que es mostra el fet de si el pla de l'objectiu, el pla del sensor i el pla de l'objecte a fotografiar es troben a una recta (la línia Scheimpflug) es pot obtenir una imatge amb tot l'objecte enfocat.

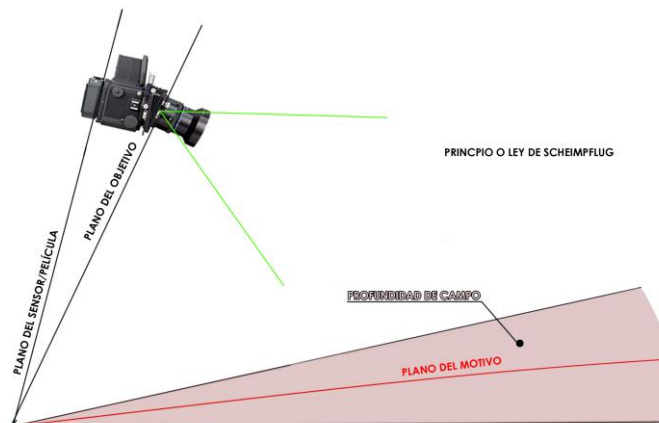


Figura 12. Esquema principi de Scheimpflug. Font: <https://afotoledo.com/formacion/articulos/item/dialogos-con-la-camara-iii-el-objetivo-correcto.html>

A partir dels anys 70, aquest és el mètode emprat per obtenir seccions òptiques oculars, des de la superfície anterior de la còrnia fins a la superfície posterior del cristal·lí. Per tant, podem aconseguir mesures de l'epiteli corneal i així poder mesurar el seu gruix.²¹

4.2.3. MODELS SCHEIMPLFUG

- **PENTACAM:**

El Pentacam és un aparell que combina un sistema d'il·luminació d'esclatxa amb una càmera Scheimpflug que giren junts al voltant de l'ull a examinar.

Parlant tècnicament, a través de l'esclatxa del Pentacam s'il·lumina una fina capa de cèl·lules dins l'ull que dispersen la llum de l'esclatxa. Tot seguit, es forma una imatge de secció la qual serà fotografiada lateralment per la càmera Scheimpflug. Aquesta càmera segueix el principi de Scheimpflug esmentat en l'apartat anterior, per tant, es crea una imatge al pla il·luminat que s'observa nítidament des de la superfície anterior de la còrnia fins a la cara posterior del cristal·lí. La càmera rotatòria capta imatges radials el segment anterior de l'ull a una velocitat de 50 imatges en 2 segons. Quan s'han obtingut totes les imatges seccionals es detecten els límits dels diferents teixits oculars i s'assignen els punts a totes les capes d'aquests teixits. Per crear el model tridimensional de tota la cambra anterior s'uneixen tots els punts de referència

obtinguts a partir de les imatges seccionals corregides en relació amb un punt de referència comú. Així, obtindrem mapes topogràfics.²³

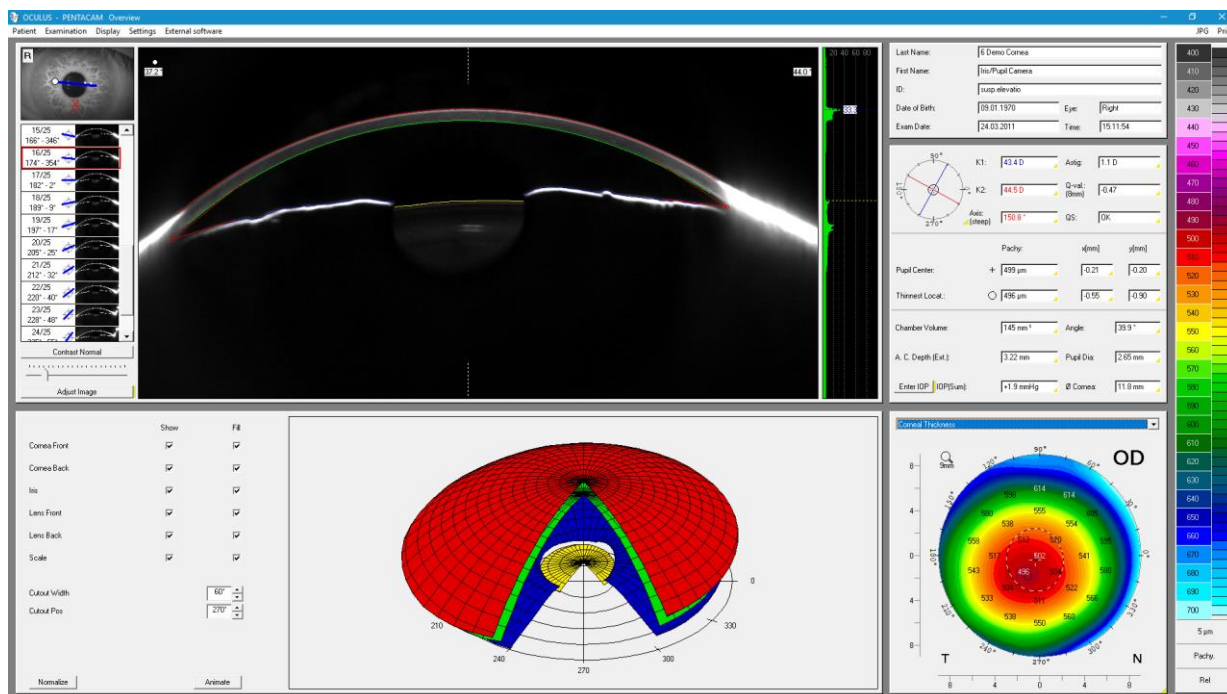


Figura 13. Imatge del programa de Pentacam en la mesura corneal. Font:

<https://www.pentacam.com/us/augenoptiker-mit-pentacamr/modelle/pentacamr/standard-software.html>

En la imatge anterior, es pot observar el programa de Pentacam després d’haver realitzat mesures a l’UD. Entre d’altres, el que es pot veure és el valor del gruix corneal total a totes les zones corneals analitzades segons el punt que ens interressi estudiar; un mapa del gruix corneal; un mapa en 3D de les diferents capes on es pot fer una separació de totes elles i veure les irregularitats, i una imatge de la secció del segment anterior de l’ull. En aquesta imatge, hi ha la opció de poder senyalar amb línies de diferents colors els canvis de capes, d’aquesta manera ens serà més fàcil delimitar l’epiteli corneal i així poder obtenir el seu gruix. Per obtenir el gruix de l’epiteli corneal es realitzarà una línia de mesura vertical en el punt corneal que es vulgui analitzar.

Hi ha tres models diferents de Pentacam: el Pentacam, el Pentacam HR i el Pentacam AXL. Es troben representats respectivament en la fotografia següent.



Figura 14. Model Pentacam, Pentacam HR i Pentacam AXL, respectivament. Font:

<https://www.pentacam.com/int.html>

Seguidament es mostra una taula amb les característiques tecnològiques a tenir en compte segons el model de Pentacam:

MODELS:	PENTACAM	PENTACAM HR I AXL
CÀMERA SCHEIMPFLUG		
Càmera	Càmera digital CCD	Càmera digital CCD
Processador	DSP amb 400m operacions/s	DSP amb 400m operacions/s
Velocitat	50 imatges en 2 segons	100 imatges en 2 segons
RANGS DE MESURA		
Curvatura	3-38mm	3-38mm
	9 a 99D	9 a 99D
Precisió	±0.2D	±0.1D
Reproductibilitat	±0.2D	±0.1D
Distància d'operació	80mm	80mm

Taula 3. Taula amb informació tècnica dels diferents models de Pentacam. Font:

<https://www.pentacam.com/int.html>

Com es pot veure a la taula anterior, les característiques tècniques dels diferents models són molt similars però els models de Pentacam HR i Pentacam AXL obtenen les imatges a més velocitat que el model Pentacam. També es pot remarcar que els models HR i AXL tenen més precisió i reproductibilitat que el model Pentacam, permetent realitzar un diagnòstic més ajustat en cada pacient.²³

Els models Pentacam i el Pentacam HR tenen les mateixes funcions, les bàsiques, però amb les diferents característiques tecnològiques esmentades anteriorment. En canvi, el model AXL a part de les funcions bàsiques també permet fer mesures biomètriques com les del càlcul precís d'una lent intraocular. Gràcies a les funcions bàsiques que els 3 aparells disposen es pot fer una valoració de la còrnia a partir de la topografia; obtenir mapes topogràfics i d'elevació de les superfícies corneals, anterior i posterior, i amb la paquimetria saber el gruix de la còrnia en general i específicament de les seves capes, com el de l'epiteli corneal.²³

5. APLICACIONS DE LA MESURA DE L'EPITELI CORNEAL:

5.1. CIRURGIA REFRACTIVA

El Laser-Assisted in situ Keratomileusis (LASIK) és una tècnica quirúrgica utilitzada per la correcció d'ametropies. Consisteix en realitzar un tall superficial a còrnia, mantenint un punt d'unió. Tot seguit, s'aixeca l'epiteli, amb un làser es realitza una ablació a l'estroma corneal i finalment es col·loca l'epiteli a lloc.²⁴

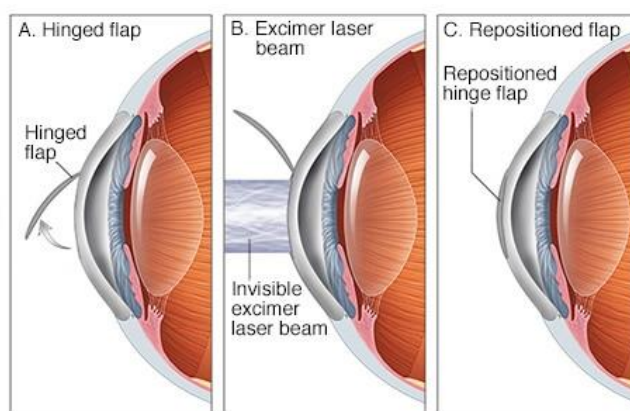


Figura 15. Procediment cirurgia de refracció LASIK. Font: <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/lasik-eye-surgery/about/pac-20384774>

Hi ha diferents requisits que s'han de tenir en compte a l'hora de decidir si un pacient és apte o no per dur a terme la LASIK, un d'ells és el gruix corneal. Aquest, després de l'operació, ha de ser com a molt prim de $400\mu\text{m}$.²⁵ Per això, s'ha de tenir en compte el gruix corneal inicial del pacient i calcular el que es comprometrà al realitzar la cirurgia.²⁶

Segons la tècnica utilitzada en fer una cirurgia refractiva l'epiteli corneal pot estar afectat. En el cas de la cirurgia LASIK, com s'ha explicat anteriorment, l'epiteli no té alteracions, ja que aquest es retira al principi de la cirurgia i al acabar es torna a col·locar al seu lloc.²⁴ En canvi, en les tècniques PRK i EpiLasik, per realitzar les cirurgies el procediment requereix la retirada de l'epiteli corneal, és a dir que s'altera l'estructura epitelial.^{27,28} Tot i que, en l'actualitat no hi ha cap tècnica de cirurgia refractiva en la qual es mesuri el gruix de l'epiteli corneal per a la seva valoració.

5.2. ORTOQUERATOLOGIA

L'ortoqueratologia (Orto-K) consisteix en l'adaptació de lents de contacte rígides d'ús nocturn, les quals tenen una curvatura especial per a cada pacient que permet modelar la còrnia, fet que fa possible la reducció de l'ametropia al llarg del dia. És una tècnica utilitzada sobretot en pacients miops i en el control de miopia en nens, tot i que també es pot aplicar en hipermetropies i astigmatismes.²⁹

En l'actualitat, la mesura de l'epiteli corneal en l'adaptació de lents d'Orto-K s'utilitza per a la investigació. Així, s'ha comprovat les alteracions que comporta, ja que, l'epiteli corneal es veu afectat, originant una lentícula epitelial negativa que redueix la miopia. Al realitzar l'adaptació d'Orto-K té lloc un canvi del gruix de l'epiteli corneal, un aprimament d'un 16% ($8.4\pm 3.3\mu\text{m}$) a la zona central i un engruiximent d'un 5.1% ($2.7\pm 3.7\mu\text{m}$) en l'epiteli mig-perifèric.³⁰ Si es té en compte la zona corneal estudiada, al centre de la còrnia es pot apreciar un major aprimament en les zones temporal i inferior; i a la perifèria mitja el major engruiximent de l'epiteli és a zona nasal en comparació amb la nasal.³¹ En pacients hipermetrops els estudis són mes escassos però s'ha vist que l'efecte de les lents d'Orto-K mantenen el gruix epitelial central però el mig-perifèric s'aprima lleugerament.³⁰

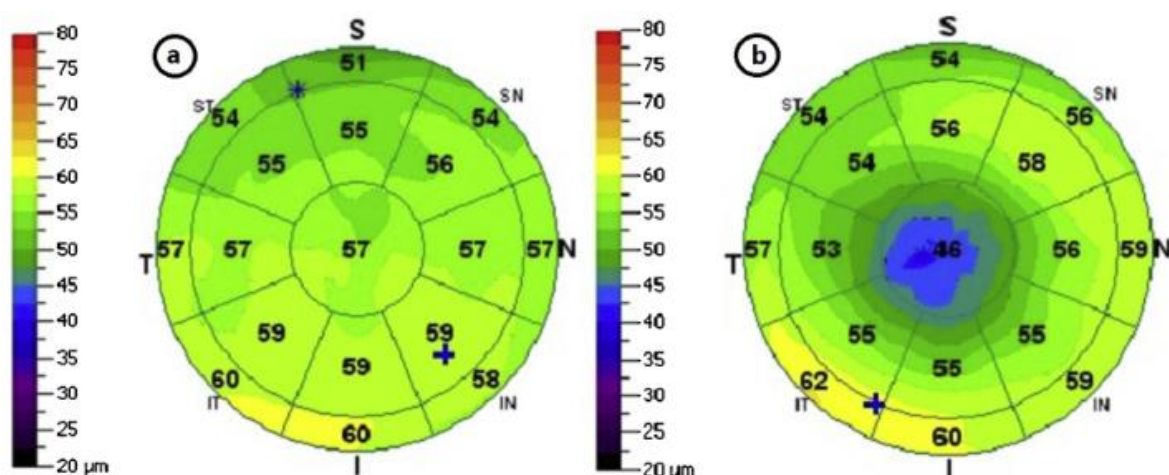


Figura 16. Mapes de gruix de l'epiteli corneal. Fig.1.a. Abans de l'Orto-K en pacient miop. Fig.1.b. Un mes després de començar a portar Orto-K en pacient miop. Font: [https://www.contactlensjournal.com/article/S1367-0484\(20\)30033-3/pdf](https://www.contactlensjournal.com/article/S1367-0484(20)30033-3/pdf)

6. CONCLUSIONS

Podem concloure que les tecnologies OCT i Scheimpflug ens permeten fer mesures del gruix de l'epiteli corneal. Hi ha diferents instruments que ho permeten dintre cada tecnologia i cada un té unes característiques pròpies esmentades anteriorment. El model MS-39 AS-OCT és un aparell amb unes mesures més completes, ja que permet unir la topografia i tomografia per aconseguir més superfície de mesura i més precisió. El model 3D OCT-1 Maestro obté mesures de les diferents capes corneals de bona resolució i la representació de mapes del gruix corneal que permeten visualitzar més fàcilment les zones de canvis de gruix on hi puguin haver afectacions. Es podria dir que el Pentacam és l'instrument amb menys resolució dels tres, per fer una mesura general del gruix corneal seria un bon aparell però si s'ha d'obtenir una mesura més precisa i amb més resolució de l'epiteli corneal i el seu gruix no seria tant fiable. Finalment, veiem que és important poder fer la mesura del gruix de l'epiteli corneal en la investigació, tant dels casos de cirurgies refractives com en l'adaptació de lents d'Orto-K, ja que així es pot conèixer com és la modificació del gruix epitelial amb el seu ús.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Villa C, Santodomingo J. La córnea. Parte I Estructura, función y anatomía microscópica. *Gaceta óptica: Órgano Oficial del Colegio Nacional de Ópticos-Optometristas de España*. 2010; ISSN 0210-5284, Nº. 454, 14-18.
2. Narang P, Agarwal A, Kumar DA. Predescemetocèle: A distinct clinical entity. *Indian J Ophthalmol*. 2017;65(11):1224-1226. doi:10.4103/ijo.IJO_492_17
3. Rapuano Christopher J. , Luchs Jodi I. , Kim Terry. *Segmento anterior: los requisitos en oftalmología*. 2001; (1.ª ed.). Madrid, Barcelona, España: Harcourt.
4. Villa C, Santodomingo J. La córnea. Parte II. Córnea central frente a córnea periférica. *Gaceta óptica: Órgano Oficial del Colegio Nacional de Ópticos-Optometristas de España*. 2011; Nº. 455.
5. Kruse, F. Stem cells and corneal epithelial regeneration. *Eye*. 1994;8:170–183. <https://doi.org/10.1038/eye.1994.42>
6. Patel S, Marshall J, Fitzke FW 3rd. Refractive index of the human corneal epithelium and stroma. *J Refract Surg*. 1995;11(2):100-105.
7. Bashir H, Seykora JT, Lee V. Invisible Shield: Review of the Corneal Epithelium as a Barrier to UV Radiation, Pathogens, and Other Environmental Stimuli. *J Ophthalmic Vis Res*. 2017;12(3):305-311. doi:10.4103/jovr.jovr_114_17
8. Wu S, Tao A, Jiang H, Xu Z, Perez V, Wang J. Vertical and horizontal corneal epithelial thickness profile using ultra-high resolution and long scan depth optical coherence tomography. *PLoS One*. 2014;9(5):e97962. doi:10.1371/journal.pone.0097962
9. Li Y, Tan O, Brass R, Weiss JL, Huang D. Corneal epithelial thickness mapping by Fourier-domain optical coherence tomography in normal and keratoconic eyes. *Ophthalmology*. 2012;119(12):2425-2433. doi:10.1016/j.ophtha.2012.06.023

10. Reinstein, D. Z., Archer, T. J., Gobbe, M., Silverman, R. H., & Coleman, D. J. Epithelial thickness in the normal cornea: three-dimensional display with Artemis very high-frequency digital ultrasound. *Journal of refractive surgery (Thorofare, N.J. : 1995)*.2008; 24(6), 571–581. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20080601-05>
11. Yujing Yang, JianJiang Xu . Age-Related Changes of Human Corneal Epithelial Thickness by Anterior Segment Optical Coherence Tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014; 55: 2457. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-13831>
12. Wu Y, Wang Y. Detailed Distribution of Corneal Epithelial Thickness and Correlated Characteristics Measured with SD-OCT in Myopic Eyes. *J Ophthalmol*. 2017:1018321. doi:10.1155/2017/1018321
13. Christoph K. Hitzenberger, "Adolf Friedrich Fercher: a pioneer of biomedical optics," *J. Biomed. Opt.* 2017; 22(12) 121704 <https://doi.org/10.1117/1.JBO.22.12.121704>
14. Friedman, N. J., MD. (2013b, septiembre 18). Update on A-Scan and B-Scan Ocular Ultrasound Technologies. Recuperado 9 de junio de 2020, de <https://www.opthalmologyweb.com/Featured-Articles/146066-Update-on-A-Scan-and-B-Scan-Ocular-Ultrasound-Technologies/>
15. Gabriele ML, Wollstein G, Ishikawa H, et al. Optical coherence tomography: history, current status, and laboratory work. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011;52(5):2425-2436. doi:10.1167/iovs.10-6312
16. Ramos JL, Li Y, Huang D. Clinical and research applications of anterior segment optical coherence tomography - a review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2009;37(1):81-89. doi:10.1111/j.1442-9071.2008.01823.x
17. Fujimoto JG, Pitris C, Boppart SA, Brezinski ME. Optical coherence tomography: an emerging technology for biomedical imaging and optical biopsy. *Neoplasia*. 2000;2(1-2):9-25. doi:10.1038/sj.neo.7900071

18. Marc, J., & Spirn, M. D. (2015, 20 enero). Optical Coherence Tomography. Recuperado 9 de junio de 2020, de https://eyewiki.aao.org/Optical_Coherence_Tomography
19. CSO Italia. MS-39 AS-OCT. Recuperado 6 de junio de 2020, de <https://www.csoitalia.it/en/prodotto/info/63-ms-39>
20. Kaschke M, Donnerhacke K, Rill MS. Optical Devices in Ophthalmology and Optometry. Technology, Design Principles and Clinical Applications. 2014; Wiley-VCH.
21. Jain, R., Grewal, S., Dada, T., Singh, K., & Spaeth, G.L. Pentacam: Principle and Clinical Applications. *Journal of Current Glaucoma Practice*. 2009; 3(2):20-32.
22. Merklinger Harnold M. Scheimpflug's Patent. *Photo Techniques*. 1996. <http://www.trenholm.org/hmmerk/SHSPAT.pdf>
23. OCULUS Pentacam® - The Gold Standard in Anterior Segment Tomography. Recuperado el 9 de Junio de 2020 de <https://www.pentacam.com/int.html>
24. Biscevic A, Pidro A, Pjano MA, Grisevic S, Ziga N, Bohac M. Lasik as a Solution for High Hypermetropia. *Med Arch*. 2019;73(3):191-194. doi:10.5455/medarh.2019;(73)191-194
25. Andreu Coret, Lluís Cavero. Algoritmos de decisión en cirugía refractiva. Ed. Ergon 2003.
26. NVISION Eye Centers. LASIK and Corneal Thickness. 2018, 25 octubre; Recuperado 12 de junio de 2020, de <https://www.nvisioncenters.com/blog/lasik-and-corneal-thickness/>
27. Somani SN, Moshirfar M, Patel BC. Photorefractive Keratectomy (PRK). In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; June 26, 2020.
28. Piao J, Whang WJ, Joo CK. Comparison of visual outcomes after femtosecond laser-assisted LASIK versus flap-off epipolis LASIK for myopia. *BMC Ophthalmol*. 2020;20(1):310. Published 2020 Jul 29. doi:10.1186/s12886-020-01579-7
29. Charm J. Orthokeratology: clinical utility and patient perspectives. *Clin Optom (Auckl)*. 2017;9:33-40. Published 2017 Feb 7. doi:10.2147/OPTO.S104507



30. Kim WK, Kim BJ, Ryu IH, Kim JK, Kim SW. Corneal epithelial and stromal thickness changes in myopic orthokeratology and their relationship with refractive change. *PLoS One*. 2018;13(9):e0203652. Published 2018 Sep 25. doi:10.1371/journal.pone.0203652

31. Zhang J, Li J, Li X, Li F, Wang T. Redistribution of the corneal epithelium after overnight wear of orthokeratology contact lenses for myopia reduction. *Cont Lens Anterior Eye*. 2020;43(3):232-237. doi:10.1016/j.clae.2020.02.015